

Las enseñanzas de sistemas en los currículos relacionados con computación: una experiencia acumulada

José C. González y Fernando Sáez-Vacas

Dep. Ingeniería de Sistemas Telemáticos

E.T.S.I. Telecomunicación

Universidad Politécnica de Madrid

28040-Madrid (España)

Tel.: +34 1 5495700

Fax: +34 1 5432077

E-mail: {jgonzalez,fsaez}@dit.upm.es

Resumen

Este texto propone la incorporación de las ideas de sistemas como elemento indispensable en los currículos universitarios relacionados con computación. Con este objetivo, se presenta la experiencia acumulada en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de Madrid desde 1978. Más concretamente, se muestran los objetivos, metodología y resultados obtenidos dentro de una asignatura denominada *Ingeniería de Sistemas*, integrada en el último curso de una especialización en Ingeniería Telemática (Informática y Comunicaciones).

1 Diseño de currículos informáticos

El proceso de diseño de currículos para estudios universitarios científico-técnicos en general, o relacionados con la informática en particular, parte habitualmente de la determinación de aquellos contenidos que se consideran centrales para la disciplina en cuestión. Este ha sido, por ejemplo, el objetivo básico de la comisión conjunta ACM/IEEE-CS que culminó sus trabajos con la publicación del documento *Computing Curricula 1991*¹ [17].

Se parte, pues, de unos requisitos (ya sea impuestos por el marco legal, o recomendados por asociaciones técnicas o profesionales), que incluyen como parte fundamental una especificación más o menos detallada de contenidos básicos. A partir de ellos, el diseñador de un currículo, llamémosle diseñador de segundo nivel, debe encapsular estos bloques elementales de conocimiento para agruparlos en forma de asignaturas, complementándolos con aquellos otros conocimientos que considere oportunos y describiéndolos hasta el nivel de detalle necesario.

De esta manera, y dependiendo del perfil de la titulación de que se trate, el núcleo inicial tiende a determinar de manera unívoca los programas de los primeros cursos, reservándose los cursos superiores para la especialización y la profundización.

Aunque esta descripción presenta más bien una caricatura del proceso de diseño curricular, no parece difícil vislumbrar en ella las raíces de las críticas que, desde el exterior, se hacen con frecuencia de la formación que proporcionamos en nuestros centros.

Así, se nos dice a veces que los estudiantes tienen una preparación adecuada sólo para enfrentarse a problemas estrictamente técnicos. En efecto; en el mundo real pocas veces se dan problemas técnicos en estado *químicamente* puro. Cualquier proyecto supone hoy día trabajar en equipo, desempeñando tareas, no sólo técnicas, sino comerciales, de gestión, de formación, etc. y poniendo en juego capacidades muy diversas: para comunicar verbalmente o por escrito, para analizar, para organizar y dirigir, para colaborar con otras personas, para estimar riesgos, para innovar, etc. Hasta el investigador más aislado en su laboratorio, especie en vía acelerada de extinción, necesita vender sus ideas para obtener financiación y comunicarse eficazmente con sus colegas.

Por otro lado, la formación que proporcionamos está frecuentemente orientada al corto plazo, olvidando la naturaleza rápidamente cambiante de la tecnología. Como consecuencia, los estudiantes quedan en poco tiempo desnudos, inermes, lo que les obliga a la larga a un costoso y a veces traumático reciclado de conocimientos.

Postulamos que las ideas de sistemas, aun no formando parte del núcleo de contenidos de la informática, sí constituyen una dimensión esencial de los objetos que ésta produce, por ejemplo un computador o una red, y de su aplicación a los problemas reales. Por tanto, resultan ser un elemento de gran potencial formativo para nuestros estudiantes y contribuyen notablemente a mejorar las deficiencias antes expuestas.

2 Las ideas de sistemas en los currículos

Las ideas de sistemas, base de lo que se viene denominando recientemente como *Ciencias de la Complejidad* [15, 4], han recibido poca atención dentro de los currículos relacionados con la informática. Raramente se encuentran en éstos materias como la *Ingeniería de Sistemas*, considerada en su sentido más amplio.

Esto no siempre significa que los conceptos de sistemas estén excluidos completamente. Por ejemplo, es frecuente encontrar cursos sobre ingeniería de sistemas de tipos específicos,

¹El mismo punto de vista, aunque a otra escala, es el adoptado recientemente en España para legislar las condiciones que deben satisfacer los programas universitarios para más de un centenar de titulaciones universitarias.

por ejemplo sobre *Ingeniería del Software*². Sin embargo, estos cursos tienden a magnificar la importancia de metodologías específicas y, en consecuencia, a desviar la atención del estudiante hacia detalles alejados del núcleo sistémico.

Nuestra institución, la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid, viene ofreciendo dos cursos semestrales con contenidos de Teoría e Ingeniería de Sistemas durante los últimos dieciséis años. Dichos contenidos han cambiado lógicamente a lo largo del tiempo, evolucionando desde la Cibernética y la Teoría de Sistemas hacia el estudio de la Complejidad en las Tecnologías de la Información (asignatura de quinto curso) y hacia la Ingeniería de Sistemas (en sexto curso). La primera de estas asignaturas utiliza como texto [14], pudiéndose encontrar una descripción breve en [13]. La de Ingeniería de Sistemas ha sido presentada –en su etapa anterior– en [7]. La docencia de ambas materias corre a cargo del Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos.

La experiencia de la impartición de estos cursos viene afianzando año tras año nuestra firme convicción en que las ideas de sistemas en general, y la Ingeniería de Sistemas en particular, tienen un gran valor formativo en el ámbito de nuestras tecnologías:

- La Ingeniería de Sistemas ofrece un enfoque ideal para abordar los problemas de complejidad creciente a los que se enfrentan y se enfrentarán los informáticos durante su vida profesional.
- Las ideas de sistemas son más profundas, abiertas y duraderas que el contenido de la mayoría de las materias de los currículos de informática y disciplinas afines. Así, la Ingeniería de Sistemas proporciona a los estudiantes un conocimiento de fondo y de largo plazo en el que el conocimiento tecnológico detallado, que se hace rápidamente obsoleto, encuentra su verdadero sentido.
- Los conceptos de sistemas proporcionan una base sólida para el trabajo dentro de equipos multidisciplinares.
- El enfoque de sistemas contribuye a hacer a los estudiantes más sensibles hacia los problemas (técnicos o no) de la sociedad.
- El enfoque de sistemas proporciona un medio poderoso para estudiar y enseñar la arquitectura de sistemas complejos, como son los computadores. (En este sentido, véase el trabajo de nuestro compañero G. Fernández, presentado a este mismo congreso [3].)

El presente artículo describe en particular la experiencia llevada a cabo durante los últimos tres años en la asignatura denominada *Ingeniería de Sistemas*.

3 Objetivos de la experiencia

3.1 Objetivos de contenidos

A partir de los postulados anteriores, el principal objetivo de la asignatura es inculcar en los estudiantes una actitud de sistemas hacia los complejos problemas a los que se enfrentarán en su vida profesional. Esta actitud supone un punto de vista holístico, complementario del enfoque reduccionista característico del método científico que los estudiantes están habituados a utilizar

²En buena parte de las materias que forman parte habitualmente de los currículos en computación, aparece, en un lugar u otro, la palabra *sistemas*. Así, hablamos de sistemas operativos, sistemas digitales, etc. Sin embargo, y pese a su nombre, rara vez se incorpora a su planteamiento alguna idea que tenga que ver con el enfoque sistémico.

en la mayor parte del resto de las materias del currículo. Las ideas de sistemas constituyen por tanto el hilo conductor que relaciona todas las actividades que se llevan a cabo en la asignatura.

Por otra parte, el enfoque de sistemas es necesario para compensar de algún modo el nivel creciente de especialización observable en cualquier parcela de nuestras tecnologías. La sociedad demanda de los técnicos un esfuerzo creciente para romper las barreras que levanta esa especialización y para comunicarse de forma eficaz con usuarios, clientes y otros profesionales con los que deben colaborar en la práctica diaria.

Además del aprendizaje de útiles conceptuales y metodológicos para abordar problemas complejos en dominios técnicos, es objeto de la asignatura mostrar que, en el mundo real, los problemas muestran su complejidad en un entramado de interrelaciones de diversa naturaleza: técnica, social, económica, laboral, medio-ambiental, psicológica, etc. Es preciso por tanto dotar a los estudiantes de herramientas para comprender y resolver esta clase de problemas.

Por último, no basta con familiarizar al estudiante con algunas metodologías específicas. Es preciso insistir en la importancia de tener en todo momento presente cuál es el ámbito y cuáles las limitaciones de estos métodos. Por último, y más importante aún, es preparar a los informáticos para apreciar, valorar y aprender otras metodologías y herramientas. En primer lugar, porque no es posible incluir demasiadas en un sólo curso. En segundo, porque los estudiantes deberán aprender y utilizar otras distintas que irán a buen seguro surgiendo durante su peripecia profesional.

3.2 Objetivos metodológicos

Reseñamos aquí los objetivos metodológicos seguidos en la impartición de la asignatura:

- **Trabajo en equipo**

El método aplicado pone énfasis en el trabajo en equipo. La educación en informática se ha orientado habitualmente al aprendizaje de conocimiento y de destrezas a nivel individual, y casi nunca se ha dirigido al desarrollo de las habilidades necesarias para realizar un trabajo productivo en grupo. Esta clase de educación ha conducido a niveles extremos de individualismo y, en consecuencia, a dificultades para la interacción.

- **Habilidades de comunicación**

La asignatura contribuye a la mejora de las habilidades de comunicación. Con frecuencia, tanto asociaciones profesionales como empleadores públicos y privados destacan las carencias que presentan nuestros titulados en estos aspectos. Un buen modo de salvar estas deficiencias es la práctica guiada dentro de las asignaturas técnicas, proponiendo a los estudiantes la redacción de informes técnicos o la presentación de temas ante los propios compañeros. Pensamos que este método da mejores resultados que la impartición de seminarios específicos sobre comunicación hablada o escrita.

- **Evaluación**

Un aspecto importante de las tareas llevadas a cabo por los informáticos es el de evaluar o criticar constructiva y profesionalmente el trabajo realizado por subordinados, compañeros o, por qué no, superiores. Algunos estudios profesionales muestran cómo las actividades de los informáticos se desplazan a medida que avanza su carrera hacia actividades de gestión, donde las tareas de evaluación son más fundamentales. Nuestros estudiantes, acostumbrados a ser examinados continuamente, deben ver también los problemas que se plantean en el otro lado, cuando se actúa como evaluador.

4 Descripción general de la asignatura

La asignatura aborda el estudio de la *Ingeniería de Sistemas* considerada en un sentido amplio, como un conjunto de metodologías para la resolución de problemas mediante el análisis, diseño y gestión de sistemas. Cada tema se articula en torno al concepto de sistema, considerado como una totalidad con objetivos propios, compuesta por elementos diversos e interconectados e integrada en un entorno.

Se presentan diversas herramientas conceptuales y aplicadas para abordar problemas complejos en ámbitos técnicos y no-técnicos. Se incluyen metodologías para el estudio de sistemas estructurados (en el ámbito de la Ingeniería Software) y no estructurados (Dinámica de Sistemas, Metodología de Sistemas no Estructurados, de P. Checkland, y Sistema Viable, de S. Beer).

Durante el curso 93/94 se han impartido por primera vez temarios distintos en los dos grupos en los que están divididos los alumnos de la asignatura. Ambos temarios, con una parte inicial común, están orientados respectivamente a la Ingeniería de Sistemas Software y a la Ingeniería de Sistemas Sociotécnicos. El motivo de este cambio ha sido de carácter coyuntural, como un medio de ir avanzando en la próxima implantación de un nuevo plan de estudios en el centro y a fin de ofrecer mayor libertad a los alumnos para confeccionar su propio currículum de acuerdo con sus gustos e intereses³.

La metodología seguida en la asignatura supone la impartición de un 60% de las horas lectivas por parte del profesorado, reservándose el resto a la tutoría y exposición pública de los trabajos realizados por alumnos en pequeños grupos. Los alumnos se encargan de calificar las exposiciones realizadas por sus compañeros, decidiendo directamente una parte de la nota final de la asignatura.

5 Programa de la asignatura

El programa que presentamos en este epígrafe no debe entenderse como un conjunto fijo de materias. Temas distintos pueden encajar bien de acuerdo con la experiencia y cualificación del profesorado y con los intereses del alumnado. En cualquier caso, cualquier tema que se considere para su inclusión en el programa debe ser cuidadosamente valorado desde la perspectiva de los objetivos de la asignatura.

5.1 Ingeniería de Sistemas Software

1. El enfoque de sistemas

Se presentan las ideas fundamentales en las que se basa el enfoque de sistemas, los tipos de problemas de sistemas y las metodologías más adecuadas para abordarlos.

- (a) Fundamentos del enfoque sistémico.

Referencias básicas: [10]

- (b) Metodologías de sistemas. Ingeniería de sistemas.

Referencias básicas: [16, cap. 1], [10]

- (c) Ciclo de vida de un sistema. Modelos.

Referencias básicas: [2]

³La cuestión de la división de temarios fue consultada a los estudiantes del curso 92/93, una vez finalizado éste. Mayoritariamente se pronunciaron a favor de nuestra propuesta de impartir temarios distintos en los dos grupos de la asignatura. Asimismo se les pidió que, a posteriori, dijeran qué grupo habrían escogido. Las preferencias se distribuyeron al 50%.

2. Ingeniería Software: Análisis y Especificación de Requisitos Software

La Ingeniería Software se presenta como una Ingeniería de Sistemas particular. Se introduce la problemática general del análisis de sistemas software, presentando metodologías de análisis estructurado y orientado a objetos. Se hace énfasis en el empleo de técnicas formales.

- (a) Especificación de Requisitos Software (SRS). Objetivos, tareas, participantes, métodos y herramientas. Documento de especificación de requisitos: estándares internacionales, organización y contenidos.
- (b) Especificación formal. Objetivos. Técnicas (algebraicas y orientadas al modelo).
- (c) Análisis de requisitos. Modelado de sistemas software. Análisis orientado a objetos.
- (d) Especificación funcional de requisitos. Metodologías de análisis estructurado. Extensiones a análisis de comportamiento.

Referencias básicas: [12, cap. 5–9], [11]

3. Ingeniería Software: Diseño y Herramientas

Se presentan inicialmente ideas básicas de diseño de sistemas software para, a continuación, pasar a describir las capacidades de los entornos actuales de Ingeniería Software Asistida por Ordenador (CASE). Por último, se abordan algunos aspectos relacionados con la gestión de proyectos software.

- (a) Conceptos de diseño. Métodos y herramientas de especificación de sistemas de tiempo real y concurrentes.
- (b) Herramientas para desarrollo de sistemas software. Entornos CASE.
- (c) Gestión de proyectos. Organización, planificación y estimación de costes. Calidad del software.

Referencias básicas: [12, cap. 2,3,15,17,22,23], [5], [8].

5.2 Ingeniería de Sistemas Socio-técnicos

1. El enfoque de sistemas

(Parte común de la asignatura; idénticos contenidos al otro grupo.)

2. Metodologías para sistemas no estructurados

Se introduce la problemática particular de los sistemas no estructurados. Se presentan las metodologías de Checkland y Beer como ejemplos de útiles conceptuales que pueden ayudar al diagnóstico y resolución de problemas complejos en los que dominan los componentes humanos o sociales y que difícilmente pueden expresarse de manera formal.

- (a) Metodologías de sistemas blandos.
- (b) El Modelo de Sistema Viable, de S. Beer.

Referencia básica: [13], extracto preparado para este curso por los profesores.

3. Dinámica de Sistemas

Se presenta la Dinámica de Sistemas como una metodología de Ingeniería de Sistemas aplicable a sistemas sociales, sociotécnicos, económicos o ecológicos. Consideramos

que esta metodología, puesta a punto por J.W. Forrester en los años sesenta, incorpora un excelente potencial educativo. La Dinámica de Sistemas usa métodos propios de la ingeniería para abordar el estudio de problemas mediante la construcción de modelos para simulación en ordenador.

La Dinámica de Sistemas tiene obviamente sus propias limitaciones. El énfasis se pone en el uso de herramientas gráficas y formales para el modelado de sistemas sociotécnicos. En el curso se discuten modelos para estudiar la dinámica del proceso de desarrollo de proyectos software, la planificación de actividades de mantenimiento en empresas, etc. Como herramienta de modelado y simulación se emplea AMDS, un entorno para desarrollo de modelos de Dinámica de Sistemas producido en el propio departamento por el primer autor [6].

- (a) Instrumentos de la Dinámica de Sistemas.
- (b) Estructuras elementales.
- (c) Construcción de modelos. Casos prácticos.
- (d) Métodos analíticos.

Referencia básica: [1, cap. 1–4]

6 Trabajos en grupo

El 70% de la calificación de los estudiantes proviene del trabajo que elaboran en grupos de cinco, y que deben redactar y exponer públicamente ante sus compañeros. Estos trabajos son tutorizados por los profesores de la asignatura, según un catálogo que se ofrece a principio de curso a los estudiantes y que incluye una breve descripción de los temas y una bibliografía básica. A título de ejemplo, he aquí parte de los títulos propuestos durante el pasado año:

- **Ingeniería de Sistemas Software**

- Estudio comparativo de modelos de ciclo de vida software
- Análisis de sistemas de soporte al trabajo cooperativo (CSCW)
- Metodologías de análisis para sistemas basados en conocimiento
- Modelado orientado a objetos en redes de comunicación
- Aplicación de técnicas de especificación formal
- Análisis comparativo de sistemas CASE en tiempo real
- Ingeniería software de protocolos
- Control de versiones y configuración de sistemas software
- Organización y soporte de equipos de trabajo
- Coordinación de prácticas de programación

- **Ingeniería de Sistemas Sociotécnicos**

- Validación de modelos de simulación
- Modelos de Dinámica del Mundo
- Modelado del proceso de desarrollo de sistemas software con Dinámica de Sistemas
- Modelos para gestión de recursos naturales
- Influencia de las Tecnologías de la Información sobre la calidad de vida
- Sistemas de control de tráfico urbano
- Desarrollo de un modelo de innovación tecnológica en la empresa coherente con los principios de la SSM

7 Evaluación de la experiencia

Venimos evaluando sistemáticamente los resultados de estos cursos a través de encuestas a los alumnos. En este apartado presentamos los resultados obtenidos en el último año académico sobre la población total de los 138 alumnos que siguieron la asignatura.

- **Composición del alumnado**

La asignatura es obligatoria para los alumnos que siguen la especialidad en Ingeniería Telemática y de libre elección para los restantes alumnos. En el último año, el 56% del alumnado de la asignatura cursó ésta obligadamente, como parte de su especialidad, procediendo el 44% restante de otras especialidades.

- **Elección de temario**

Los alumnos se distribuyeron a partes aproximadamente iguales entre ambos temarios (49% para Sistemas Sociotécnicos, en adelante SST, y 51% para Sistemas Software, en adelante, SSW). Estos temarios se impartían en horarios distintos, por lo que en ocasiones los alumnos se vieron forzados a tomar un temario u otro por incompatibilidad con los de otras actividades académicas o extra-académicas. Esta era la situación del 35% de los alumnos en SST y del 11% en SSW.

Como era previsible, los alumnos de la especialización en Telemática se decantaron mayoritariamente por el temario más orientado a software (en un 67%, frente al 33% que optaron por SST). Esta elección responde a la necesidad de salvar una laguna en el currículo actual del centro, y que está ya contemplada específicamente en un nuevo currículo que acaba de ser aprobado y que se pondrá en marcha el próximo curso.

- **Satisfacción con el temario seguido**

En términos generales, los estudiantes mostraron al terminar el curso su satisfacción por el temario que habían escogido (84% de satisfechos frente a un 5% de insatisfechos y a un 11% de indiferentes). Curiosamente, y a pesar de que el alumnado de sistemas sociotécnicos seguía ese temario de manera obligada en mayor medida que en SSW, el grado de satisfacción resultó ser a posteriori algo mayor (88% en SST frente a 81% en SSW). Esto confirma los resultados de la encuesta citada en la sección 4 y muestra cómo el interés del alumno por los sistemas sociotécnicos crece con el conocimiento del tema.

- **Visibilidad del punto de vista de sistemas**

Se preguntó a los estudiantes si el punto de vista de sistemas (ver la sección 3.1, “Objetivos de contenidos”) quedaba suficientemente patente como hilo conductor de la asignatura. Las respuestas de los alumnos de SST fueron afirmativas en un 75%, mientras que un 24% respondió que sólo era patente a medias y sólo un alumno estimó que no era patente. En el temario SSW, las respuestas fueron del 46% (patente), 46% (patente a medias) y 8% (no patente).

La diferencia entre los resultados de ambos grupos era previsible. Es mucho más difícil plantear metodologías y herramientas software llegando a un nivel de detalle que los estudiantes consideren útil y haciendo girar las explicaciones alrededor del concepto de sistema y de sus propiedades. En todo caso, es un reto para nosotros mejorar los resultados obtenidos en este aspecto.

- **Valoración de los contenidos frente a otras asignaturas**

Más del 95% de los alumnos opinan que los contenidos de la asignatura son tan interesantes o más que los de las restantes de su especialidad. También aquí es curioso observar las significativas diferencias que se registran en los resultados de ambos grupos. Así, el alumnado de sistemas sociotécnicos considera mejores los contenidos de esta asignatura en un 45%, similares en un 54% y sólo un estudiante los considera peores. Por lo que respecta a SSW, los resultados son 28% (mejores), 64% (similares) y 8% (peores).

Parece como si, a la altura del sexto año de la carrera, los estudiantes agradecieran especialmente que una asignatura se ocupe de problemas a nivel global, desligados de tanto detalle tecnológico.

- **Valoración de la organización**

Mención aparte merece también el reconocimiento del alumnado a la organización de la asignatura. El 72% de los alumnos opina que el método de enseñanza seguido (ver la sección 3.2, "Objetivos metodológicos") es mejor que el de las restantes asignaturas (que descansa fundamentalmente en clases magistrales), mientras que un 25% piensa que es similar y un 4% que es peor.

Como vemos, la diferencia de organización es una característica distintiva de la asignatura, más si cabe que sus contenidos. En cuanto a las, por otra parte escasas, valoraciones negativas, hay que tener en cuenta que, en el curso en que está situada la asignatura, una buena proporción de alumnos se encuentra haciendo prácticas en empresas o concentrados en la realización de proyectos fin de carrera. Eso hace que puedan considerar molesto un esquema que impone un grado de participación y una dedicación superiores a la media.

8 Conclusiones

La experiencia educativa descrita en este artículo se ha diseñado sobre la base de nuestra firme confianza en el valor de la Ingeniería de Sistemas dentro de los currículos universitarios relacionados con la ingeniería en general y la computación en particular. Esta confianza viene avalada por dieciséis años de enseñanza de las ideas de sistemas en los sucesivos currículos de la escuela.

Como argumenta George J. Klir en [9], la *sociedad de la información* está viendo un incremento acelerado de la cantidad de conocimiento disponible y, como consecuencia, de su grado de complejidad y turbulencia. Será necesario equipar a nuestros estudiantes con un poco de *Ingeniería de Sistemas* para que viajen ligeros de equipaje por los intrincados caminos de la profesión informática en la sociedad del futuro.

9 Agradecimientos

En la impartición de la asignatura intervienen, además de los firmantes de este artículo, los profesores Mercedes Garijo y Gonzalo León y la profesora ayudante Natividad Martínez.

Referencias

- [1] Javier Aracil. *Introducción a la Dinámica de Sistemas*. Alianza, tercera edición, Madrid, 1986.

- [2] A.M. Davis, E.H. Bersoff, and E.R. Comer. A strategy for comparing alternative software development life cycle models. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 14(10):1453–1461, 1988.
- [3] Gregorio Fernández. Un texto sobre arquitectura de ordenadores con un enfoque integrado y sistémico. Informe UPM/DIT/LIA 6/94, Dep. Ing. Sistemas Telemáticos, E.T.S.I. Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, 1994. (Artículo enviado al III Congreso Iberoamericano de Educación Superior en Computación, Concepción, Chile, 1994).
- [4] D.J. Frailey, editor. *Managing Complexity and Modeling Reality: Strategic Issues and an Action Agenda from the 1990 ACM Conference on Critical Issues*. ACM Press, 1991.
- [5] Alfonso Fuggetta. A classification of CASE technology. *IEEE Computer*, págs. 25–38, December 1993.
- [6] José C. González. El entorno AMDS para simulación con dinámica de sistemas. En Domingo Docampo and Aníbal R. Figueiras, editores, *Simulación y sus Aplicaciones*, págs. 39–47. Universidad de Vigo, Mayo 1993. Actas de las Primeras Jornadas Técnicas sobre Simulación y sus Aplicaciones, ETSI de Telecomunicación, Universidad de Vigo.
- [7] José C. González, Mercedes Garijo, and Fernando Sáez. Systems in engineering education: Account of an experience. En *Proceedings of the Frontiers in Education Conference, FIE'92*, págs. 326–330, Nashville, USA, November 1992. IEEE and ASEE.
- [8] David Harel. Biting the silver bullet: Toward a brighter future for system development. *IEEE Computer*, págs. 8–20, January 1992.
- [9] George J. Klir. New demands and requirements for crossdisciplinary engineers. En A. Gertenfeld, editor, *Manufacturing Research: Organizational and Institutional Issues*. Elsevier, 1986.
- [10] George J. Klir. Systems science: a guided tour. *Informática y Automática*, 25(1):5–18, Marzo 1992.
- [11] Institute of Electrical and Electronics Engineers. *IEEE Guide to Software Requirements, ANSI/IEEE Std 830-1984*. IEEE Computer Society Press, 1984.
- [12] Roger S. Pressman. *Ingeniería del Software. Un enfoque práctico*. McGraw–Hill, tercera edición, 1994.
- [13] Fernando Sáez Vacas. *Ofimática Compleja*. Colección Impactos. Fundesco, Madrid, 1990.
- [14] Fernando Sáez Vacas. *Complejidad y Tecnología de la Información*. Instituto Tecnológico Bull, Madrid, 1992.
- [15] B. Snow. *Education in the Systems Sciences: An Annotated Guide to Education and Research Opportunities in the Sciences of Complexity*. The Elmwood Institute, 1990.
- [16] Bernhard Thomé, editor. *Systems Engineering: Principles and Practice of Computer-Based Systems Engineering*. Wiley, 1993.
- [17] Allen B. Tucker, editor. *Computing Curricula 1991*. ACM Press/IEEE Computer Society Press, 1991.